



农药残留检测系统图像采集标定方法研究

王 岩, 许增朴, 于德敏, 王永强
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘 要: 利用农药残留检测试纸显色区域的颜色值进行农药残留度测量, 需对测量系统中的彩色 CCD 图像传感器进行标定, 消除图像颜色失真. 采用在拍摄环境中放置灰度块的方法, 利用灰度块的 RGB 分量平衡性与灰度线性渐变特性, 同时对彩色 CCD 图像传感器进行白平衡和非线性校正. 实验表明, 该标定方法能够很好地还原颜色值, 有利于农药残留检测的后续工作.

关键词: 标定; 白平衡; CCD 非线性响应; 颜色校正

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6510 (2007) 02-0049-05

Research on Calibration for Capturing of Pesticide Residue Detector

WANG Yan, XU Zeng-pu, YU De-min, WANG Yong-qiang

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: It is necessary to calibrate the pesticide residue detector for obtain the real color values when detecting the pesticide residue based on the strips color reaction. The calibration was completed using the method that some gray patches whose RGB values are balanceable and changing linearly are photographed in the background of scene. Experiments results show that the calibration method can work well in color recovery which benefits the pesticide residue detection.

Keywords: calibration; white balance; CCD nonlinear response; color correction

试纸条法检测技术在食品农药残留检测中得到广泛应用. 该方法将化学反应从试管里移到滤纸上进行, 利用能够产生明显颜色的生物反应或化学反应定性或定量检测待测的物质, 被测物与试纸接触后, 在试纸上发生反应, 试纸的颜色发生变化, 农药残留度越大, 颜色则越浅.

基于机器视觉技术的农药残留检测系统, 利用彩色图像处理技术, 以试纸图像的颜色特征对农药残留度进行检测. 但是, 由于光照色偏以及 CCD 或 CMOS 图像传感器非线性响应的影响, 使拍摄的彩色图像存在的颜色失真, 影响利用试纸显色反应进行农药残留度检测的准确性. 为此, 需要检测系统进行图像采集标定, 保证通过 CCD 或 CMOS 图像传感器得到的图像能够正确地反映农残检测试纸条的颜色.

颜色校正在彩色图像处理中占有相当重要的地位, 其校正结果直接影响彩色图像特征提取等后续工作的准确性. 因此, 不少学者对颜色校正方法开展了

多方面的研究工作^[1-5]. 但多数研究均是在 CCD 相机对 RGB 各通道响应是线性或是近似线性这一假设下进行的, 提出的算法只能近似的恢复图像真实颜色信息. 尽管相机内置的 Gamma 模块可以部分消除这种非线性的影响, 但无法完全适应光照强度对 CCD 相机非线性的影响.

因此, 本文在成像环境中放置若干灰度块, 各灰度块的灰度值按线性变化, 利用实际拍摄得到的图像中各灰度块的灰度线性渐变性和 RGB 分量平衡性出现偏差来校正图像的颜色偏差, 完成图像采集标定.

1 彩色模型

假设相机有 n 种不同的光传感器, 其光谱敏感度函数用 $R_i(\lambda)$ 表示. 则这些传感器的输出可以表示为

$$O_i^x = \alpha_i \cdot \left[\int E(\lambda) R_i(\lambda) d\lambda \right]^{\gamma_i} + \beta_i \quad (1)$$

收稿日期: 2006-11-14; 修回日期: 2007-03-23

基金项目: 科技部国家科技支撑计划项目 (2006BAD05A06)

作者简介: 王 岩 (1979—), 男, 河南郑州人, 硕士研究生.

式中: $i = 1, 2, 3$ 代表 RGB 三个通道; α_i 是相机的增益; β_i 是相机的暗电流响应; γ_i 是相机的伽马校正, 用于调整相机的线性响应; $E(\lambda) = H(\lambda)S^x(\lambda)$ 是物体表面反射光, 其中 $H(\lambda)$ 为环境光谱功率分布函数, $S^x(\lambda)$ 是 x 处的表面光谱反射率函数.

通常, 式(1)在研究中被简化为

$$O_i^x = \int E(\lambda)R_i(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

对于离散数字信号来讲, 对式(2)可以通过建立有限维线性模型来实现离散化和降维. 文献[6]和文献[7]证明用 3~5 个基函数足可以精确表示光谱. 他们的实验结果是 3 个恰当的基函数就能达到 99.2% 的符合程度. 因此, 可以建立环境光照的光谱功率分布函数和物体表面反射率函数的有限维线性模型

$$E(\lambda) = \sum_{j=1}^J \alpha_j E_j(\lambda) \quad (3)$$

$$S^x(\lambda) = \sum_{k=1}^K \beta_k S_k(\lambda) \quad (4)$$

式中: $J=K=3$, $E_j(\lambda)$ 、 $S_k(\lambda)$ 分别是 $E(\lambda)$ 、 $S^x(\lambda)$ 的基函数. 由上述有限维线性环境光照模型和物理表面模型, 可将式(1)转化为

$$O_i^x = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \alpha_j \beta_k \Psi_{ijk} \quad (5)$$

其中, $\Psi_{ijk} = \int E_j(\lambda)S_k(\lambda)R_i(\lambda)d\lambda \quad (6)$

通过上述变换可知, 有限维线性模型是建立在以下假设之上的: 相机增益 $\alpha_i=1$, 相机暗电流响应 $\beta_i=0$, 相机的伽马校正 $\gamma_i=1$, 即假设相机响应在 RGB 三个通道之间相同且呈线性关系. 而现实中, 相机的这三个参数往往不符合上述假设条件, 即相机的响应对灰度值强度并非完全符合线性关系, 而且 RGB 三个通道之间的响应也不尽相同, 因此, 需对彩色 CCD 的输出进行非线性校正.

2 基于灰度块监督的系统标定方法

光照的色调偏差是彩色图像颜色失真的主要外因. 非彩色物体颜色的 RGB 分量相同, 但在实际拍摄中, 由于光照色调偏差的影响, 经彩色 CCD 图像传感器拍摄所得到非彩色物体的图像存在一定程度的色偏, 即 RGB 各通道的响应强度不是完全相同的.

对于环境光照偏差造成的图像颜色偏差, 可采取白平衡的技术来校正. 传统的白平衡方法, 首先在拍摄环境中拍摄一纯白色物体, 分析所得图像数据, 获取三原色的平均值 $(\bar{R}, \bar{G}, \bar{B})$, 对于白色本身 $R=G=B$,

通过改变 R 、 B 响应通道的增益, 实现白平衡. 但不同亮度下各通道偏差并不是完全相同, 因此, 上述白平衡方法无法正确地还原颜色值. 文献[1]在拍摄背景中放置一黑白渐变的基准板, 由于基准板是非彩色的, 其上各点 R 、 G 、 B 值本身是相等的, 在有色偏的光照下获得的图像 R 、 G 、 B 值之间便会出现偏差, 通过颜色直方图和累积直方图实现对偏色图像的各分量进行校正的方法, 得到了较好的效果. 但黑白渐变基准板区域真实值的获取以及对基准板采样的不稳定性会造成得校正失真. 本文采用若干灰度值递增的灰度块代替黑白渐变基准板进行白平衡校正, 各灰度块颜色值稳定、可测, 图像中各灰度块均值与实际值之间的偏差可用于确定白平衡的校正系数.

彩色 CCD 图像传感器响应的带通性和非线性是图像颜色失真的主要内因. CCD 图像传感器响应的带通性是指当物体反射光线过暗或过亮, 超出 CCD 响应范围, 会出现负向饱和或正向饱和现象. 非线性是指对于彩色 CCD 图像传感器来讲, RGB 各通道可以认为是三个灰度通道, 在各自的通道中, CCD 传感器的响应与物体颜色该分量灰度值单调但非线性.

由于 CCD 相机对于 RGB 各个通道的响应并不具有良好的线性关系, 各种基于 CCD 线性响应的颜色校正方法^[1-5]不能得到很好的效果. 为了消除这种非线性, 大多数 CCD 相机内置有 Gamma 校正模块, 解决相机的非线性响应问题. 但 Gamma 校正系数一旦选定, 其校正曲线固定, 无法完全适应环境光照的影响, 因此文献[8]利用非线性函数叠加的方法构造一个合理的 Gamma 值变化曲线, 使 Gamma 校正充分适应光照变化的实际情况, 改善 Gamma 校正可能产生的图像失真问题, 但与物体真实颜色仍有一定偏差. 本文在成像环境中放置若干灰度块, 各灰度块的灰度值按线性变化, 在实际拍摄得到的图像中, 各灰度块的灰度值呈非线性变化, 这种偏差反映出 CCD 相机的非线性误差, 可以利用两者间的偏差来校正 CCD 相机的非线性响应.

3 基本算法流程

设标准灰度块色偏图像的像素值为 (R_{si}, G_{si}, B_{si}) ($i=1, \dots, n$), 其理想值为 (R_{ii}, G_{ii}, B_{ii}) ($i=1, \dots, n$), 可建立相机实际响应与理想响应之间的映射:

$$\begin{aligned} LUT(image) &= LUT(R, G, B) \\ &= f(R_{si} \rightarrow R_{ii}, G_{si} \rightarrow G_{ii}, B_{si} \rightarrow B_{ii}) \end{aligned} \quad (7)$$

设相机的暗电流偏置为 $offset_bc$, 有色偏的图像为 $Image_o$, 校正后的图像 $Image_L$.

$$Image_L = LUT(Image_o - offset_bc) \quad (8)$$

校正方法流程如图 1 所示.

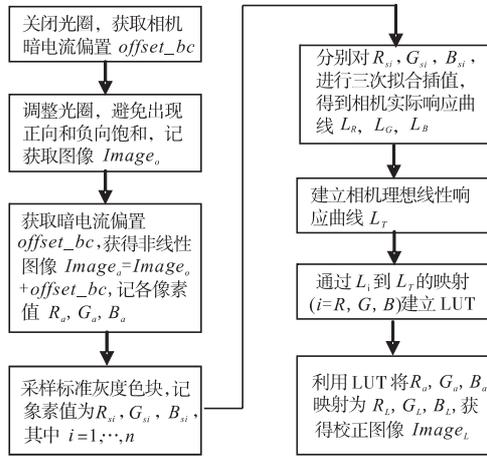


图 1 校正方法流程图
Fig.1 Flow chart of calibration

校正步骤:

(1) 关闭镜头光圈, 拍摄得到无光感应时的图像, 该图像的每一点的颜色值应该均为(0, 0, 0), 但由于相机暗电流的偏置, 图像点的实际颜色值不全为(0, 0, 0), 记该图像为 $offset_bc$, 作为图像的线性偏置值.

(2) 打开镜头光圈, 调整镜头, 防止图像产生正向和负向饱和现象. 记采集到的实际图像为 $Image_o$.

(3) 在 $Image_o$ 上加上暗电流偏置量 $offset_bc$, 可得非线性响应图像 $Image_a$, 其 RGB 三个分量分别为 R_a, G_a, B_a .

(4) 对各标准灰度色块采样, 取每个色块中央的 $21pixel \times 21pixel$ 大小的窗口, 取其各个通道的灰度平均值 $R_{si}, G_{si}, B_{si}(i=1, \dots, n)$. 对各采样点进行多项式插值, 得到三条光滑曲线, 由这三条曲线的坐标位置可以得到图像颜色偏差情况.

使用分段多项式插值拟合时, 需注意多项式阶次的选择, 低次多项式可能造成数据拟合不足失真, 而过高次数多项式可能形成拟合过度失真, 经过对二次、三次和四次 Hermite 分段插值比较, 三次分段插值具有较理想的效果. 因此, 采用三次 Hermite 分段插值来拟合相机非线性响应曲线.

区间 $[a, b]$ 上分段三次插值函数 $H(x)$ 满足条件:

- a. $H(x)$ 为在区间 $[a, b]$ 上一阶导数连续的函数集;
- b. $H(x_i) = y_i, H'(x_i) = y'_i, i=1, \dots, n$;
- c. $H(x)$ 在每个小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上是三次多项式.

三次插值函数 $H(x)$ 在区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上的表达式为

$$H(x) = \left(\frac{x-x_{k+1}}{x_k-x_{k+1}} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_k}{x_{k+1}-x_k} \right) y_i + \left(\frac{x-x_k}{x_{k+1}-x_k} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{x-x_{k+1}}{x_k-x_{k+1}} \right) y_{i+1} + \left(\frac{x-x_k}{x_{k+1}-x_k} \right)^2 (x-x_k) y'_i + \left(\frac{x-x_{k+1}}{x_k-x_{k+1}} \right)^2 (x-x_{k+1}) y'_{i+1} \quad (9)$$

(5) 建立相机实际响应映射到理想响应的查询表(LookUp Table), 对于采集到的实际图像的各个通道 R_a, G_a, B_a , 分别利用查询表向理想线性响应上投影, 即可得到理想线性响应的图像 $Image_L$.

为了能够较好的建立校正曲线, 标准灰度块的灰度值应尽量均匀分布在被测物体 RGB 各分量灰度集中区域内.

4 实验

考虑到农药残留检测试纸条的颜色 RGB 各分量基本分布在整个灰度区域内, 设计了标准灰度板, 板上含有五个灰度色块, 其灰度值从左到右分别为 255、191、127、63 和 0 (由于打印偏差, 利用 Match-Rite CFS57 分光光度仪测得灰度值分别为 245、185、130、66、23). 采用上述的校正方法, 得到 RGB 各通道的非线性响应及其到各通道理想响应的映射, 如图 2 所示, 利用这一关系建立供颜色校正用的查询表.

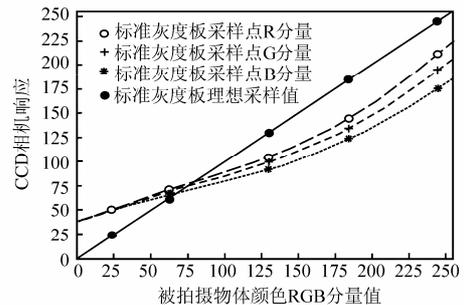


图 2 相机非线性响应与理想线性响应
Fig.2 CCD responses between ideal and actual

实验表明, 过多的灰度色块并不能有效地提高拟合精度. 为了验证本系统的颜色标定精度, 模拟试纸检测情况, 制作了 a, b, c, d 四组色条, 如图 3 所示.

对色条中的各色块从左到右, 自上而下进行编号 1—8. 使用 Match-Rite CFS57 分光光度仪测量各个色块的颜色值列于表 1 中.

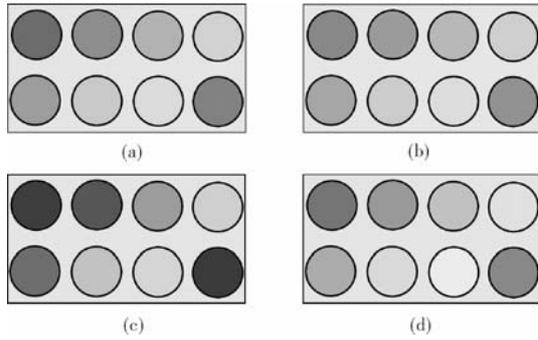


图3 系统标定试验用色条
Fig.3 Color patch for calibration

表1 系统标定试验用色条颜色值
Tab.1 Color patch values of calibration

色块编号	色条编号				
	a	b	c	d	
1	R	70	78	56	102
	G	109	151	50	141
	B	188	194	140	0
2	R	106	104	75	143
	G	144	166	76	174
	B	207	215	166	18
3	R	151	140	144	184
	G	179	180	149	204
	B	219	206	205	105
4	R	191	188	198	215
	G	205	207	199	224
	B	231	222	229	195
5	R	122	123	87	162
	G	157	173	103	189
	B	213	210	198	56
6	R	177	180	183	207
	G	198	201	185	221
	B	227	222	223	168
7	R	207	205	205	228
	G	212	217	206	231
	B	231	231	227	212
8	R	89	91	48	121
	G	134	158	50	159
	B	201	201	137	14

使用 JVC TK-C1480BEC 彩色 CCD 在 LED 光源下拍摄图像,如图 4 所示.建立的查询表,进行图像校正,完成图像采集标定过程,图像颜色得到很好的校正,结果如图 5 所示.

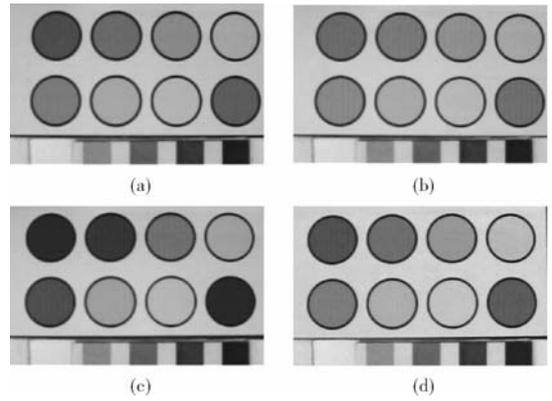


图4 实际拍摄图像
Fig.4 Actual image

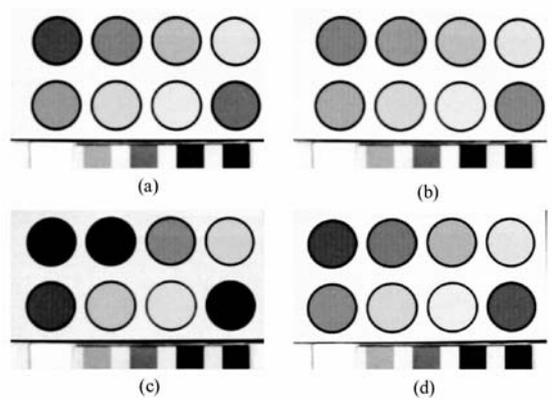


图5 校正后的图像
Fig.5 Corrected image

5 实验结果分析

为了验证校正效果,取校正后图像中各个颜色区域内的均值(减小随机误差)与用 Match-Rite CFS57 分光光度仪测量结果做比较.

RGB 空间是一个不均匀的空间,在该空间上两个颜色之间的距离并不能表示它们之间的差异,而 CIDE2000 色差可以很好的表示这一差异,如果两个颜色之间的 CIDE2000 色差大于 5,可以认为两个颜色有差异;两个颜色之间的 CIDE2000 色差小于 3,则可以认为两个颜色基本相似.所以,使用两个颜色之间的 CIDE2000 色差来表示校正误差.图 6 为标定前后颜色值与实际颜色值的 CIDE2000 色差分布图.

通过图 6 可以看出,本方法可以很好地完成系统图像采集标定功能,还原被测目标颜色值.但当颜色饱和度较高或灰度值较小时,校正后的误差偏大,原因是 CCD 相机受响应带宽影响,出现负向饱和现象,CCD 相机无法响应.

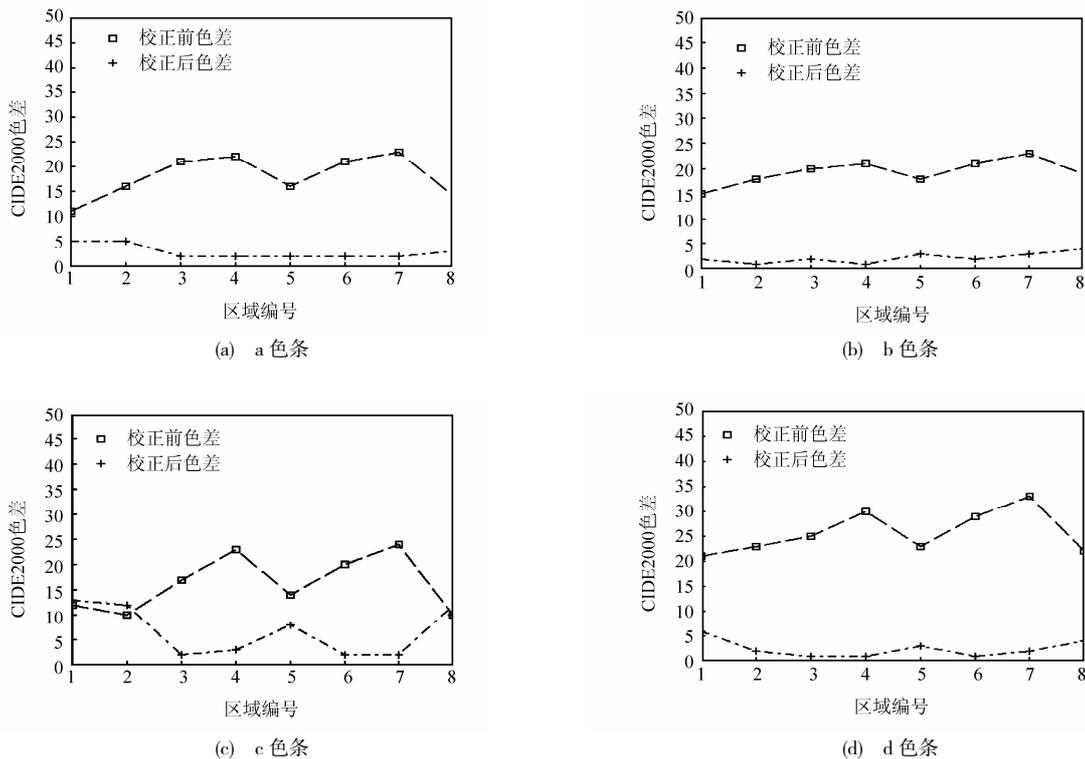


图6 校正前后颜色值与实际颜色值的色差
Fig.6 CIDE2000 color differences

6 结 语

本文采用在拍摄环境中放置若干灰度块,同时对农药残留检测系统进行白平衡和非线性校正,完成系统图像采集标定.经过该方法进行标定后,农药残留检测系统能够正确还原被拍摄试纸的颜色值,为后续利用试纸颜色值进行农药残留度分析奠定了基础.

致谢: 天津科技大学食品营养与安全重点实验室的王硕教授及其实验室研究人员协助完成本文实验工作,在此一并表示感谢.

参 考 文 献:

[1] 郭永刚,葛庆平,郭楠.利用白平衡进行偏色图像的颜色校正[J].计算机工程与应用,2005,20(3):56—59.
[2] Y C Chang. RGB calibration for color image analysis in

machine vision [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5 (10): 1414—1422.
[3] Graham D Finlayson, Gui Yun Tian. Color normalization for color object recognition[J]. International Journal Pattern cognition and Artificial Intelligence, 1999, 13 (8): 1271—1285.
[4] 白雪生,刘立峰, Jesse S Jin, 等. 基于颜色直方图的监督颜色恒常性算法[J]. 清华大学学报, 1997, 37 (3): 1—6.
[5] 刘关松,吕嘉雯,徐建国,等. 监督颜色校正方法研究[J]. 计算机学报, 2003, 26 (4): 502—506.
[6] Cohen J. Dependency of the spectral reflectance curve of the Munsell color chips[J]. Psychonomic Science, 1964 (1): 369—377.
[7] 师一华,杨金锋. 图像处理中改进的矫正方法[J]. 安阳工学院学报, 2006 (6): 67—70.
[8] Judd D H, MacAdam D L, Wyszecki G. Spectral distribution of typical daylight as a function of correlated color temperature[J]. Journal of the Optical Society of America, 1977, 67: 779—791.